

第五章 結果與討論

5.1 成就測驗

本研究的電子學成就測驗，主要希望探討學習者在使用只有視覺化模擬軟體與使用視覺化加上模擬操作功能的模擬軟體，當作課後複習工具之後，其學習成效上的差異。其成就測驗結果如下所示：

表 5.1 電子學測驗調整前後總分與各單元分數前後測摘要表

電子學測驗	組別	樣本數	前測		後測	
			平均	標準差	平均	標準差
總分	實驗組	26	74.90	18.55	84.82	10.87
	對照組	23	71.17	17.37	71.17	19.94

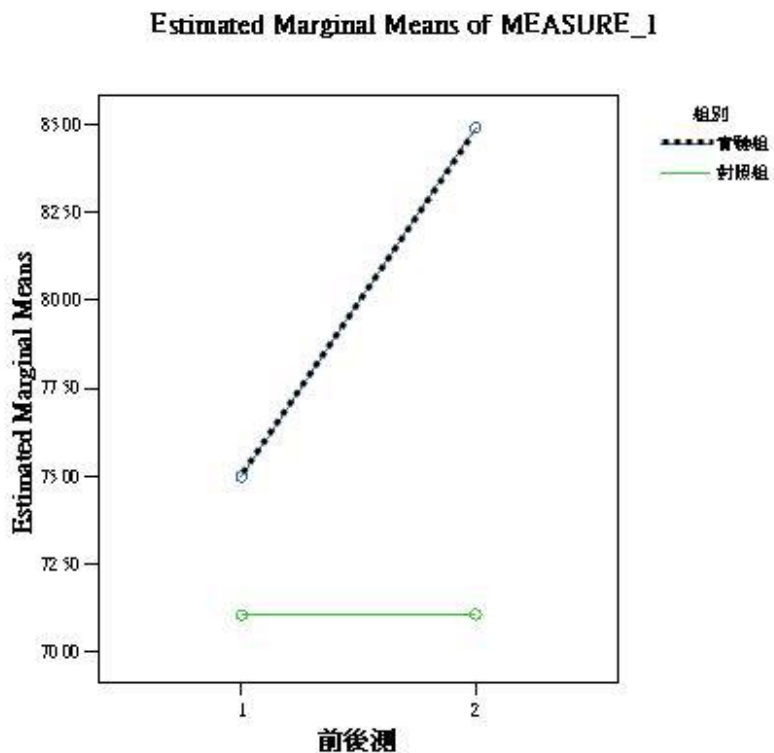


圖 5.1 實驗組與對照組之前後測成績

表 5.1 及圖 5.1 為自變項在依變項上得分的敘述統計整理表，與實驗組別與前後測之對照成績，由表中可知實驗組受試者有 26 名，前測與後測平均為 74.90 與 84.82，對照組受試者有 23 名，前測與後測之平均皆為 71.17。

一、組內迴歸係數同質性檢定

本研究中組別與前後測為自變項，有支援視覺化「概念釐清教學模組」與引導式「模擬操作教學模組」的實驗組與僅支援視覺化「概念釐清教學模組」的對照組，依變項為電子學後測，因以學生電子學期中考成績作為共變量，故於分析前首先須檢定組內迴歸係數同質性之假設，即自變項與共變量之交互作用是否達顯著水準。由表 5.2 可知，自變項與共變量之交互作用的 $F(2, 45)$ 值為 .68 ($p > .05$) 並未達顯著水準，表示組別與前後測成績並沒有與期中考有交互效果，共變量(期中考)與依變項(電子學學習成就)間的關係不會因自變項各處理水準的不同而有所差異。即共變數分析模式並未違反組內迴歸係數同質性的假設，因此可進行二因子混合設計共變數分析。

表 5.2 組內迴歸係數同質性檢定摘要

變異來源	SS	df	MS	F	p
組別	1728.69	1	1728.69	14.16	.000
前後測	145.60	1	145.60	1.19	.281
期中考	3351.25	1	3351.25	27.45	.000
組別 by 期中考, 前後測 by 期中考,	165.34	2	82.67	.68	.513
組別 by 前後測 by 期中考 誤差	5494.62	45	122.10		

二、以期中考為共變數的二因子混合共變數分析

二因子混合設計共變數分析部份，以電子學期中考成績作為共變量，進行實驗組與對照組前、後測得分變化幅度的差異顯著性考驗，其調整後平均數如表 5.3 所示，可知在調整後的得分上，兩組後測成績都比前測高。

表 5.3 實驗組與對照組調整後前後測得分摘要表

	實驗組(n=26)		對照組(n=23)	
	M	SD	M	SD
(調整後)前測	74.992(a)	3.154	71.062(a)	3.353
(調整後)後測	84.894(a)	2.810	71.081(a)	2.988

從表 5.4 中可以發現前後測與組別有交互作用($F(1, 46)=4.90$ ， $p<.05$)，因此，需要進行單純主要效果的考驗。

表 5.4 二因子混合設計共變數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	p
受試者間					
組別	1920.70	1	1920.70	5.616	.022
誤差	15733.38	46	342.03		
受試者內					
前後測	678.670	1	678.67	5.57	.023
交互作用(前後測×組別)	595.993	1	595.99	4.90	.032
誤差	5606.259	46	121.88		

* $p<.05$

將組別與前後測這兩個因子分別進行單純主要效果考驗後，其結果整理如表 5.5 所示。由表可知，實驗組在前測的得分上與對照組沒有顯著差異($F(1,94) = .593$ ， $p>.05$)，在後測的得分則顯著高於對照組($F(1,94) = 7.93$ ， $p<.05$)；另外，對照組前後測得分無顯著差異($F(1,47) = .000$ ， $p>.05$)，但是在實驗組內，後測得分顯著高於前測($F(1, 47) = 10.62$ ， $p<.05$)，可知實驗組成績有顯著的進步。

表 5.5 兩組在前後測之單純主要效果摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	p
前後測					
在實驗組	1279.033	1	1279.03	10.620	.002
在對照組	.000	1	.000	.000	.992
誤差	5660.027	47	120.426		
組別					
在前測	169.952	1	169.9522	.593	0.443
在後測	2274.150	1	274.150	7.933	.005
誤差	26945.913	94	286.659		

* $p < .05$

5.2 學習歷程分析

Ronen 和 Eliahu (2000)在簡單電子電路的模擬研究中發現，程度非常好的學生，不需要模擬軟體的幫助，即可自行解決任務；程度太低不足以瞭解電子學領域的學生，在試模擬軟體時，則可能無法從回饋中獲得助益。建議未來研究中，可以嘗試著找出最有效的方式，將模擬整合入課堂教學之中，並與所有其他可用的方式連結，包含實際的實驗。

本研究認為高成就學生學習成效可能由於原先就有積極的學習態度，軟體融入教學效果未必明顯，因此歷程分析先扣除高分組與低分組學生之後，從中隨機選出電子學後測成績，比起前測有進步與無進步的學生，實驗組取兩位有進步與兩位無進步學生；對照組亦然。總共分析 8 位學生之學習歷程。分析方式係以研究者自訂之歷程向度為基本，對各個被分析的受試者之歷程進行各單元編碼，最後再將編碼整合，進行討論。歷程向度由研究者針對學習者在歷程中所有看得見的動作整理歸納之後，暫訂基本向度，並於訪談時經由詢問學習者確認每一向度訂定的適當性。歷程向度可參考表 5.6 歷程向度定義與說明對照表。其中，在模擬操作教學模組的向度中，將學習者答題之前操作參數的模式分成三種，分別是「按照題目要求操作」，「探索式自行調整操作」，及「不操作直接答題」。

表 5.6 歷程向度定義與說明對照表

概念釐清教學模組		模擬操作教學模組	
向度名稱	說明	向度名稱	說明
點選提示說明	學習者在聽完某步驟之後，有無點選提示鈕觀看提示	觀看操作說明	學習者在學習之前有無先看各單元之操作說明
有無按照步驟順序點選	學習者學習概念釐清時有無按照步驟順序進行學習	有無按照順序操作題目	學習者有無按照題目出題順序操作作答
點選步驟順序編碼	將學習者學習的每個步驟照順序記錄下來	題目操作順序編碼	將學習者學習的每個題目照順序記錄下來
重複複習的步驟編碼	學習過的步驟，若有重複學習時記錄其各題次數	按照題目要求操作	按照題目指示控指特定參數
概念釐清學習時間	學習概念釐清教學模組總時間	探索式自行調整操作	自行調整各參數或輸出結果
		不操作直接答題	完全無操作及答題
		答完題目後反覆練習操作參數	答完題目後重複操作練習
		回到概念釐清複習	回到模擬操作教學模組學習，（記錄題號、步驟編碼與情況描述）情況標註編碼：A 答題過程中 B 答對題目後 C 答錯題目後 D 題目全數答完之後

由表 5.7 可發現，實驗組中有進步的學習者，其共同特點是在做完模擬操作的題目後，會再回到概念釐清功能模組作複習，而無進步的兩位學習者則都無此情況；另外，其中一位成績進步的學習者在模擬時，操作題目的方式共計有 26 題屬於探索式自行調整操作，明顯高於其他三位學習者，而兩位無進步的學習者，操作題目的方式僅有 3 題 5 題是屬於探索式自行調整操作。

表 5.7 實驗組歷程分析結果列表

	進步 1	進步 2	無進步 1	無進步 2
Visualization:				
•點選提示說明	11 次	11 次	5 次	4 次
•重複複習某個步驟	13 次	23 次	9 次	2 次
•概念釐清時間	31 分	47 分	28 分	23 分
Manipulation:				
•觀看操作說明時間	16 秒	15 秒	18 秒	20 秒
•依照題目要求操作	43 題	29 題	45 題	46 題
•探索式自行調整操作	6 題	26 題	3 題	5 題
•不操作直接答題	2 題	3 題	0 題	2 題
•答完題目後反覆練習操作	4 題	1 題	2 題	2 題
•回到概念釐清複習：	11 次	16 次	0 次	0 次
•模擬操作時間	28 分	35 分	32 分	26 分

在對照組的歷程部分，參考表 5.8，則在成績有進步與成績無進步的學生之間，無發現有其顯著差異的變項存在。

表 5.8 對照組歷程分析結果列表

	進步 1	進步 2	無進步 1	無進步 2
Visualization:				
•點選提示說明	3 次	3 次	4 次	4 次
•重複複習某個步驟	20 次	2 次	22 次	6 次
•概念釐清時間	39 分	22 分	52 分	44 分

5.3 態度問卷結果

本節在根據實驗組回收的「電子學視覺化與操作之模擬軟體」融入教學之態度問卷，及對照組回收的「電子學視覺化模擬軟體」融入教學之態度問卷作分析。

一、實驗組「電子學視覺化與操作之模擬軟體」融入教學之態度問卷分析結果

首先針對五點量表部分，各題回答狀況統計整理如下：

表 5.9 實驗組態度問卷五點量表百分比統計一覽表

(1)整體而言，您覺得「電子學模擬與視覺化學習軟體」容易操作使用嗎？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不容易	0	0
	(2分)不容易	1	4
平均分數	(3分)普通	4	15
4.2	(4分)容易	11	42
	(5分)非常容易	10	39
(3)整體而言，使用此軟體之後，是否有讓您提升對電子學的學習興趣？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	2	7
平均分數	(3分)普通	7	27
3.6	(4分)同意	16	62
	(5分)非常同意	1	4
(4)整體而言，使用此軟體之後，對於您在電子學上的學習是否有助益？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	0	0
平均分數	(3分)普通	6	23
4.0	(4分)同意	14	54
	(5分)非常同意	6	23
(6)此軟體中的「概念釐清」功能，其視覺化的動態呈現是否能幫助您對各單元的概念更加清楚？			
有效人數	選項	選答人數	百分比

26	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	1	4
平均分數	(3分)普通	3	12
4.2	(4分)同意	12	46
	(5分)非常同意	10	38
(7)此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的速度上是否會太快，太慢或適中？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)速度太快	1	4
	(2分)速度稍快	6	23
平均分數	(3分)速度適中	17	65
2.8	(4分)速度稍慢	2	8
	(5分)非常太慢	0	0
(8)此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的清晰度上是否清楚？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不清楚	0	0
	(2分)不清楚	1	4
平均分數	(3分)普通	6	23
4.0	(4分)清楚	10	38
	(5分)非常清楚	9	35
(9)您認為此軟體中的「概念釐清」功能，其單元內容的難易度對您而言是？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)太過容易	0	0
	(2分)稍微容易	15	58
平均分數	(3分)難度適中	10	38
2.5	(4分)稍微困難	1	4
	(5分)太過困難	0	0
(10)您對此軟體中的「概念釐清」功能，其互動設計的方式是否滿意？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不滿意	2	8
	(2分)不滿意	0	0
平均分數	(3分)普通	11	42
3.4	(4分)滿意	11	42
	(5分)非常滿意	2	8
(11)您認為此軟體中的「模擬操作」功能，其模擬調整參數的功能是否讓您能夠反覆練習，增加概念的釐清？			

有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	3	12
平均分數	(3分)普通	6	23
3.7	(4分)同意	12	46
	(5分)非常同意	5	19
(12)您認為此軟體中的「模擬操作」功能，其 題目的難易度 對您而言是？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1)太過容易	3	12
	(2)稍微容易	17	65
平均分數	(3)難度適中	6	23
2.12	(4)稍微困難	0	0
	(5)太過困難	0	0
(13)您對此軟體中的「模擬操作」功能，其 互動設計 的方式是否滿意？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
38	(1分)非常不滿意	1	4
	(2分)不滿意	1	4
平均分數	(3分)普通	6	23
3.8	(4分)滿意	12	46
	(5分)非常滿意	6	23

本態度問卷五點量表部分平均得分為 3.48 分。從表 5.9 中可知，平均得分最高的題目為第 6 題與第 1 題的 4.2 分，其次是第 4 題與第 8 題的 4 分。

得分最高的第 6 題，問學生「此軟體中的「概念釐清」功能，其**視覺化的動態呈現**是否能幫助您對各單元的概念更加清楚？」，除了一位不同意之外，學生回答在同意與非常同意的比例高達 84%，可知學生認為此軟體中的「概念釐清」功能，其**視覺化的動態呈現**有助於讓自己對各單元的概念更加清楚。與第 6 題同樣為最高得分的第 1 題，「整體而言，您覺得「電子學模擬與視覺化學習軟體」容易操作使用嗎？」，僅一位認為不同意，而回答同意與非常同意的學生高達 81%，可知學生認為電子學視覺化與操作之模擬軟體是容易使用的。

平均得分第二高分 4 分的第 4 題，「整體而言，使用此軟體之後，對於您在電子學上的學習是否有助益？」，沒有學生不同意，而回答同意與非常同意的學生高達 77%，可知學生普遍認為使用此軟體之後，在電子學上的學習是有助益的。此外，有 66% 的學生同意使用此軟體之後，能夠提升對電子學的學習興趣。

平均得分與第 4 題並列第二高分的第 8 題，「此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的清晰度上是否清楚？」，僅一位認為不清楚，而回答清楚與非常清楚的學生高達 73%，可知學生認為此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的清晰度上是清楚的。平均得分第三高分 3.8 分的第 13 題，「您對此軟體中的「模擬操作」功能，其**互動設計**的方式是否滿意？」，除了一位非常不同意與一位不同意之外，學生回答在同意與非常同意的比例高達 69%，顯示學生在對此軟體中的「模擬操作」功能，其**互動設計**的方式是滿意的。

平均得分第四高分 3.7 分的第 11 題，「您認為此軟體中的「模擬操作」功能，其**模擬調整參數**的功能是否讓您能夠反覆練習，增加概念的釐清？」，除了三位不同意之外，學生回答在同意與非常同意的比例高達 65%，顯示學生認為此軟體中的「模擬操作」功能，其**模擬調整參數**的功能能夠反覆練習，增加概念的釐清。

值得注意的是，第 10 題「您對此軟體中的「概念釐清」功能，其**互動設計**的方式是否滿意？」，有兩位學生非常不同意，也僅有 50% 對此軟體中的「概念釐清」功能，其**互動設計**的方式感到滿意，顯示學生認為概念釐清功能的互動不夠。65% 學生認為軟體中的「概念釐清」功能，**語音講解的速度**上是適中的；此

外，有 73%認為軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的清晰度上是清楚的。表示學生普遍對概念釐清功能語音講解的部分是滿意的。

在第 12 題「您認為此軟體中的「模擬操作」功能，其題目的難易度對您而言是？」中，學生有 77%認為題目是稍微容易或太過容易的，認為題目難易適中的僅有 23%，顯示學生普遍認為題目過於容易。

另外，在非五點量表部分的回答狀況，第 2 題與第 5 題的整理如表 5.10 所示：

表 5.10 實驗組非五點量表百分比統計表

(2)您比較喜歡「電子學模擬與視覺化學習軟體」中的那個部分？(可複選)			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1)概念釐清	17	57
	(2)模擬操作	13	43
為什麼			
(5)您認為此軟體除了「概念釐清」與「模擬操作」功能之外，還可以增加何種功能？(可複選)			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1)背景知識	10	26
	(2)自我評量測驗	15	38
	(3)課外補充	13	33
	(4)其他：	1	3

在第 2 題「您比較喜歡「電子學模擬與視覺化學習軟體」中的那個部分？」中，學生有 57%較喜歡概念釐清功能，選擇**概念釐清功能**的學生認為動畫的表達與清晰的講解能幫助電子學的概念釐清；而較喜歡**模擬操作功能**的學生則認為模擬操作較有親身體驗的真實感覺，藉由動手使用調整可學更多。

第 5 題「您認為此軟體除了「概念釐清」與「模擬操作」功能之外，還可以增加何種功能？」則有 38%學生認為可增加自我評量測驗功能，有 33%學生認為可增加課外補充。

在第 14 題，感想與建議中，學生普遍對此軟體都持肯定態度，使用上除了程式設計上的小瑕疵外也都很滿意，也對此軟體還可擴充的方向提出建議。

二、對照組「電子學視覺化模擬軟體」融入教學之態度問卷分析結果

首先針對五點量表部分，各題回答狀況統計整理如下：

表 5.11 對照組態度問卷五點量表百分比統計一覽表

(1)整體而言，您覺得「電子學模擬與視覺化學習軟體」容易操作使用嗎？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不容易	0	0
	(2分)不容易	0	0
平均分數	(3分)普通	6	26
4.1	(4分)容易	9	39
	(5分)非常容易	8	35
(2)整體而言，使用此軟體之後，是否有讓您提升對電子學的學習興趣？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	2	9
平均分數	(3分)普通	14	61
3.2	(4分)同意	7	30
	(5分)非常同意	0	0
(3)整體而言，使用此軟體之後，對於您在電子學上的學習是否有助益？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	1	4
平均分數	(3分)普通	11	48
3.4	(4分)同意	11	48
	(5分)非常同意	0	0
(5)此軟體中的「概念釐清」功能，其視覺化的動態呈現是否能幫助您對各單元的概念更加清楚？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不同意	0	0
	(2分)不同意	0	0
平均分數	(3分)普通	6	26
4.0	(4分)同意	11	48
	(5分)非常同意	6	26
(6)此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的速度上是否會太快，太慢或適中？			
有效人數	選項	選答人數	百分比

23	(1分)速度太快	1	4
	(2分)速度稍快	15	66
平均分數	(3分)速度適中	6	26
2.3	(4分)速度稍慢	1	4
	(5分)非常太慢	0	0
(7)此軟體中的「概念釐清」功能， 語音講解的清晰度 上是否清楚？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不清楚	0	0
	(2分)不清楚	1	4
平均分數	(3分)普通	6	26
3.8	(4分)清楚	13	57
	(5分)非常清楚	3	13
(8)您認為此軟體中的「概念釐清」功能，其 單元內容的難易度 對您而言是？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)太過容易	0	0
	(2分)稍微容易	10	44
平均分數	(3分)難度適中	12	52
2.6	(4分)稍微困難	1	4
	(5分)太過困難	0	0
(8)您對此軟體中的「概念釐清」功能，其 互動設計 的方式是否滿意？			
有效人數	選項	選答人數	百分比
23	(1分)非常不滿意	0	0
	(2分)不滿意	5	22
平均分數	(3分)普通	10	44
3.2	(4分)滿意	7	30
	(5分)非常滿意	1	4

本態度問卷五點量表部分平均得分為 3.33 分。從表 5.11 中可知，平均得分最高的題目為第 1 題的 4.1 分，其次是第 5 題的 4 分。

得分最高的第 1 題，問學生「整體而言，您覺得「電子學模擬與視覺化學習軟體」容易操作使用嗎？」，沒有學生選擇不同意，學生回答在同意與非常同意的比例高達 74%，可知學生認為此「電子學模擬與視覺化學習軟體」容易操作使

用。

平均得分第二高分 4 分的第 5 題，「此軟體中的「概念釐清」功能，其**視覺化的動態呈現**是否能幫助您對各單元的概念更加清楚？」，與第 1 題一樣，沒有學生不同意，而回答同意與非常同意的學生高達 74%，可知學生普遍認為使用此軟體之後，在電子學上的學習是有助益的。

平均得分第三高分 3.84 分的第 7 題，「此軟體中的「概念釐清」功能，**語音講解的清晰度**上是否清楚？」，僅一位學生認為不清楚，而認為清楚與非常清楚的學生高達 70%，可知學生普遍認為此軟體中的「概念釐清」功能，語音講解的清晰度上是清楚的。此外，第 6 題「此軟體中的「概念釐清」功能，**語音講解的速度**上是否會太快，太慢或適中？」，只有一位同學認為講解速度稍慢，認為講解速度稍快或速度太快的高達 70%，顯示多數學生認為此軟體概念釐清功能的語音講解速度過快。

在第 3 題中，「整體而言，使用此軟體之後，對於您在電子學上的學習是否有助益？」，有一位不同意，而認為同意的只有 48%，與認為普通的 48% 相同，顯示學生對此軟體在電子學上的學習助益持保留態度。在第 2 題「整體而言，使用此軟體之後，是否有讓您提升對電子學的學習興趣？」中，同樣地，同意的比例不高，僅有 30%，有 61% 的多數學生認為普通，9% 認為不同意，可見學生對此軟體在提升電子學的學習興趣上也不持肯定態度。此外，在第 8 題中，有 52% 認為此軟體中的「概念釐清」功能，其**單元內容的難易度**是適中的。

值得一提的是，第 8 題「您對此軟體中的「概念釐清」功能，其**互動設計**的方式是否滿意？」，對此軟體概念釐清功能的**互動設計**感到不滿意的有 5 位，認為滿意與非常滿意的僅有 34%，非常低落，另外 44%認為普通，從此題可看出學生對此軟體中的「概念釐清」功能，其**互動設計**的方式不甚滿意。

另外，在非五點量表部分的回答狀況，第 2 題與第 5 題的整理如表 5.12 所示：

表 5.12 對照組非五點量表百分比統計表

(4)您認為此軟體除了「概念釐清」功能之外，還可以增加何種功能？(可複選)			
有效人數	選項	選答人數	百分比
26	(1)模擬操作	18	38
	(2)背景知識	11	24
	(3)自我評量測驗	14	30
	(4)課外補充	2	4
	(5)其他：	2	4

第 4 題「您認為此軟體除了「概念釐清」功能之外，還可以增加何種功能？」，有 38%學生認為可增加**模擬操作功能**，有 30%學生認為可增加自我評量測驗，24%學生認為可增加課外補充。

在第 9 題，感想與建議中，多數學生皆認為此軟體的**互動設計**不夠，。建議希望能增加**互動性高**，可自由操作與體驗的功能。另外也提到可增加公式計算講解，以及其他程式使用上的改善。

5.4 討論

本研究提出以視覺化概念呈現，加上引導式模擬操作，讓視覺化學習更加具有成效。經由實驗結果，就其兩種實驗處理的組別之電子學二極體電路單元學習成就，訪談與歷程分析，及學習者對模擬軟體及電子學之態度問卷結果討論。

一、關於使用「視覺化模擬軟體」與「視覺化加操作的模擬軟體」教學之比較

視覺化及電腦動畫對於幫助提升學習成效的研究結果，有好有壞。以 Colaso et al. (2002) 在資料結構的教學研究中為例，提出受試者認為視覺化是非常有幫助的，因為能夠模擬且激發他們去學習新的問題，幫助他們擷取概念，進而轉化進入長期記憶中；另外，也有視覺化的研究結果指出，視覺化無法增進學習效果 (Calaso et al., 2002; Meyer, 1997; Reamon, 1997; Regan 和 Sheppard, 1996)。為了探究視覺化為何對學習無正向影響，有些研究發現對視覺化成效影響的共同點為，視覺化若能加上與學習者互動，增加學習者操作機會，能夠增加其學習成效 (Anglin et al., 2004; Tversky, 2002; Naps et al., 2003; Jensen 2002; Calaso et al., 2002; Korhonen 和 Molm, 2000)。亦即，視覺化學習若缺少了讓使用者操作、互動的機會，單用視覺化輔助學習是有可能沒效果的。

本實驗研究結果，實驗組在後測的得分則顯著高於對照組，且實驗組內，後測得分顯著高於前測，而對照組前後測得分則無顯著差異，亦即證實視覺化加上模擬操作功能的學習活動成效是大於僅用視覺化學習的，且有幫助學習者提升學習成效的，而單用視覺化幫助學習也的確發現無法提升學習者之學習成效。

二、關於個別學習者在不同操作過程與學習成效進步的關聯性

有文獻指出，自訂假設的模擬學習，在學習成效上是高於讓學習者依循步驟的模擬學習方式的(林合彥, 2004)，且學生使用電腦模擬軟體時，以探索方式學習能夠增進學習意願並因此促進學習效果與學生滿意度，並增加進步情況與提高課堂完成率(Doulai, 2001)。亦即學習者根據心中既定的假設自我探索，加以驗證假設之後得到的學習成效會高於完全依賴模擬的引導步驟逐步操作，而無驗證自我假設的學習方式。

在本實驗的歷程分析中，實驗組中其中一位有進步的學習者，在模擬時，操作題目的方式屬於探索式自行調整操作的學習模式，的確也呼應了先前這樣的研究結果。此外，實驗組中有進步的學習者，其共同特點是做完模擬操作的題目後，會再回到概念釐清功能模組作複習，可推論學習者在經過操作與驗證原先假設後，再重複進行概念釐清學習，能夠增加學習成效。而對照組的學習者，重複看概念釐清教學單元的次數都比實驗組高，在後測成績上卻沒有顯著進步，成績也顯著低於實驗組，如同 Naps et al. (2003)所指出的，雖然一般研究廣泛認為視覺化科技對學習有正面影響。但無論設計的多麼良好，若無配合適當的學習活動，仍舊有可能是無效的。

三、學習者在使用模擬軟體後，對電子學模擬軟體之學習態度

由學生態度問卷整理結果可知，實驗組的學生覺得「電子學模擬與視覺化學習軟體」有助於提升對電子學的學習興趣，也認為此軟體在學習電子學上是

有助益的。然而對照組卻對「電子學視覺化學習軟體」有助於提升對電子學的學習興趣持保留態度，也對此軟體在學習上有助益的觀點上，僅接近半數認為同意。